

## ФОРМИРОВАНИЕ МОМЕНТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ НАПРЯЖЕНИЕМ

А. В. АЛЬКИН, В. И. ПАНТЕЛЕЕВ, Б. П. СОУСТИН

Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники

Приводы, основной задачей которых является управление кинетическим моментом, имеют на валу большие маховые массы и отличаются от общепромышленных необходимостью регулирования момента, при скорости вращения близкой к номинальной. По энергетическим соображениям такие приводы строятся по схеме инвертор — асинхронный двигатель с импульсным управлением. Непрерывные методы управления не применяются из-за значительного увеличения потерь в системе инвертор-двигатель. При коротких импульсах управления время переходного электромагнитного процесса может занимать значительную часть импульса, и пренебрежение переходными процессами приводит к значительным ошибкам. Допущение о прямоугольности момента справедливо, если длительность импульса  $t_{\text{и}} \geq 150 \div 200$  периодов питающего напряжения, причем с меньшей погрешностью при большем скольжении.

Включение асинхронного двигателя, вращающегося с постоянной скоростью, к источнику синусоидального напряжения сопровождается переходным процессом, имеющим сложную зависимость во времени, определяемую начальной скоростью вращения и параметрами двигателя. Для иллюстрации на рис. 1 приведено решение на АВМ уравнений

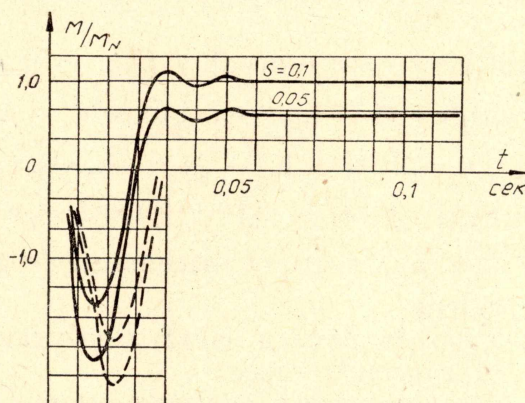


Рис. 1

асинхронного двигателя. Видно, что после подключения двигателя к источнику возникает значительный по величине отрицательный момент, физическая сущность которого показана в [1] и, хотя переходный про-



цесс заканчивается быстро, начальный участок оказывает значительное влияние на среднее значение момента и на величину полных потерь.

Ниже показано влияние свободных составляющих токов на величину среднего значения момента за время действия импульса управления и даны зависимости, определяющие амплитуду отрицательного выброса в кривой момента.

Для оценки влияния свободных составляющих токов на величину среднего значения момента вводится коэффициент уменьшения среднего значения момента от влияния свободных составляющих  $K_M$  — отношение среднего значения момента за время действия импульса управления к установившемуся значению

$$K_M = \frac{1}{t_u} \int_0^{t_u} M dt \cdot \frac{1}{M_{уст}} \quad (1)$$

На рис. 2 приведены зависимости  $K_M$  для разных скольжений, откуда видно, что на начальном участке  $K_M$  отрицателен, а при малых импульсах  $t_u$  его значение немногим больше нуля. Так как отрицательный выброс момента имеет наибольшее влияние на  $K_M$ , необходимо провести подробный анализ этого явления.

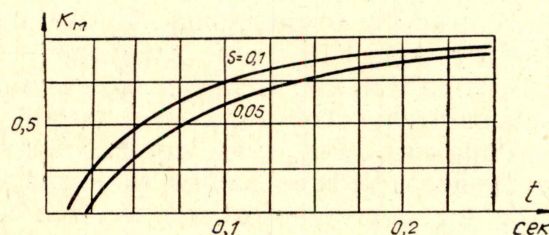


Рис. 2

Для определения амплитуды отрицательного выброса запишем зависимость электромагнитного момента асинхронного двигателя от времени при постоянной скорости вращения [2]:

$$\begin{aligned} \frac{M(t)}{M_{уст}} \Big|_{\substack{s \neq 0 \\ s \neq 1}} = & 1 + m_{a_1} \cdot \exp(-2\alpha_1\omega_0 t) + m_{a_2} \cdot \exp(-2\alpha_2\omega_0 t) + \\ & + (m_{a_2} - m_{a_1} - 1) \cos \omega_1\omega_0 t \cdot \exp(-\alpha_1\omega_0 t) + (m_{a_1} - m_{a_2} - 1) \cos \omega_2\omega_0 t \times \\ & \times \exp(-\alpha_2\omega_0 t) + (1 - m_{a_1} - m_{a_2}) \cos(\omega_1 - \omega_2)\omega_0 t \times \\ & \times \exp[-(\alpha_1 + \alpha_2)\omega_0 t] + K \{ -\exp(-\alpha_1\omega_0 t) \sin \omega_1\omega_0 t + \\ & + \exp[-(\alpha_1 + \alpha_2)\omega_0 t] \cdot \sin(\omega_1 - \omega_2)\omega_0 t + \exp(-\alpha_2\omega_0 t) \sin \omega_2\omega_0 t \}, \quad (2) \end{aligned}$$

где  $m_{a_1}$ ,  $m_{a_2}$ ,  $K$  — коэффициенты, определяемые через параметры двигателя;

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  — коэффициенты и частоты затухания свободных составляющих токов,

$M_{уст}$  — установившееся значение момента.

Для определения амплитуды отрицательного выброса необходимо определить экстремум (2). Ввиду сложности проведения математических операций есть смысл предварительно рассмотреть каждую составляющую (2) с точки зрения коэффициентов и частот затухания свободных составляющих.



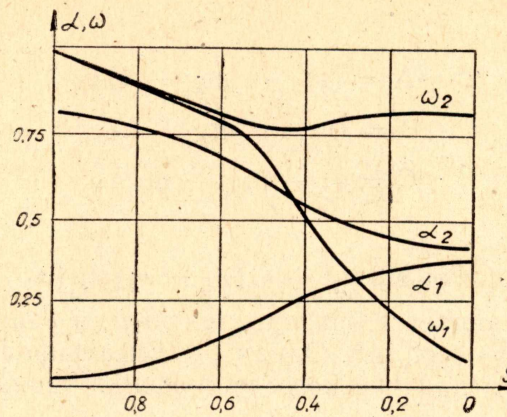


Рис. 3

На рис. 3 приведены зависимости  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ , откуда видно, что при малых скольжениях  $s \leq 0,1$  значение  $\omega_2$  близко к нулю и его влиянием можно пренебречь. Кроме того, время, при котором переходный отрицательный момент достигает максимума, составляет примерно 25% от времени переходного процесса. Если предположить, что затухание всех составляющих в (2) происходит с одинаковой интенсивностью, то ко времени достижения максимума его величина составит примерно 62%. С учётом сказанного выражение примет вид

$$M(t) = -0,76 m_{a_1} \cdot M_{уст} (1 - \cos \omega_1 t), \quad (3)$$

то есть момент имеет максимальное значение отрицательного выброса при  $\cos \omega_1 t = 0$ , или  $t = \frac{\pi}{2\omega_1}$ . Отсюда, зная величину  $\omega_1$ , определяется

$$t = \frac{\pi}{2\omega_1}. \quad (4)$$

Время достижения максимума отрицательного момента изменяется обратно пропорционально  $\omega_1$ , т. е. при  $\omega_1$ , соответствующих меньшему скольжению, имеет большее значение рис. 2. Амплитуда отрицательного выброса момента (рис. 1, пунктир), вычисленная согласно (2), для скольжений 0,05 и 0,1 на 20 и 15% больше, чем амплитуды, полученные при моделировании на АВМ. Полученным выражением можно пользоваться при скольжениях  $0 < s < s_{кр}$ . Если для определения величины отрицательного выброса при работе со скольжениями меньше критического предположить, что  $\omega_1$  и  $\omega_2$  соизмеримы, а затуханием пренебречь, то выражение (2) примет вид

$$\begin{aligned} \frac{M(t)}{M_{уст}} = & 1 + m_{a_1} + m_{a_2} + (m_{a_2} - m_{a_1} - 1) \cos \omega_1 t + \\ & + (m_{a_1} - m_{a_2} - 1) \cos \omega_2 t + (-m_{a_1} - m_{a_2} + 1) \cos (\omega_1 - \omega_2) t. \end{aligned} \quad (5)$$

Последним членом в выражении (2) можно пренебречь, так как согласно расчету, полученному на ЦВМ, его влияние на формирование амплитуды отрицательного момента незначительно.

Исследуем на экстремумы выражение (5), для этого возьмем первую производную, получим

$$\frac{d[M(t)]}{dt} = -M_{уст} [A \omega_1 \sin \omega_1 t + B \omega_2 \sin \omega_2 t + C (\omega_1 - \omega_2) \sin (\omega_1 - \omega_2) t], \quad (6)$$



где

$$\begin{aligned} A &= (m_{a_2} - m_{a_1} - 1), \\ B &= (m_{a_1} - m_{a_2} - 1), \\ C &= (1 - m_{a_1} - m_{a_2}), \end{aligned} \quad (7)$$

откуда

$$A\omega_1 \sin \omega_1 t + B\omega_2 \sin \omega_2 t + C(\omega_1 - \omega_2) \sin (\omega_1 - \omega_2)t = 0.$$

Уравнение (6) является трансцендентным, и решение его находится обычно численными методами. Однако, рассматривая кривые изменения частот затухания до критического скольжения, можно заметить, что  $\omega_1 \approx \omega_2$ , тогда

$$(A\omega_1 + B\omega_2) \sin \omega t = 0, \quad (8)$$

$$(A\omega_1 + B\omega_2) \neq 0, \text{ т. е. } \sin \omega t = 0,$$

$$\omega t = n\pi. \quad (9)$$

Полученные выражения, совместное решение (3) и (4) при работе двигателя со скольжениями меньше критического и (7), (8), (9)—при работе со скольжениями больше критического позволяют без применения вычислительных машин или производства трудоемких вычислений на логарифмической линейке оценить с допустимой погрешностью до 15% амплитуду отрицательного выброса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Алькин, В. П. Лянзбург, В. И. Пантелеев, Б. П. Соустин. Формирование момента асинхронного двигателя в переходном режиме. Известия ТПИ, т. 283, Томск, изд-во ТГУ, 1973.
2. М. М. Соколов, Л. П. Петров, Л. Б. Масандилов, В. А. Ладензон. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. М., «Энергия», 1967.